

住宅エネルギー消費量の長期詳細測定と数値計算に基づいた省エネルギーの可能性に関する研究

著者	謝 静超
号	51
学位授与番号	3710
URL	http://hdl.handle.net/10097/37378

氏 名	しや せい ちょう 謝 静 超
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 9 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	住宅エネルギー消費量の長期詳細測定と数値計算 に基づいた省エネルギーの可能性に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 吉野 博
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 吉野 博 東北大学教授 三橋 博三 東北大学教授 石坂 公一 東北大学教授 持田 灯

論 文 内 容 要 旨

日本の住宅分野の二酸化炭素排出量は増加の一途を辿り、総排出量の 12.7%を占めるに至っている。エネルギー消費量を用途別に見ると、暖房、給湯のみならず、照明・その他のエネルギー消費量も大きく増加している。従って、効果的な省エネルギー対策立案のためには、照明・その他に含まれる機器別のエネルギー消費について、どのような機器でエネルギーが消費されているかについての実態を明らかにする必要がある。しかし、これまで機器別のエネルギー消費量の実態調査は暖冷房、給湯に比べて少なく、これらのエネルギー消費の特性は明確になっていない。また、住宅分野における省エネルギー手法には、大別して①建物自体の設計に関する工夫、②設備機器への配慮、③ライフスタイルの変更による省エネ、の 3 つの手法が挙げられ、①及び②の省エネルギーに関する研究は盛んに行われており、その対策が実際に導入されている。しかし、③のライフスタイルの変更による省エネルギー対策については、どの程度の省エネ効果が期待できるかについては、ほとんど検討されていない。

そこで本研究では、全国各地域の住宅を対象に暖冷房、給湯並びに機器別エネルギー消費量の実態を詳細に把握し、エネルギー消費量に影響を及ぼす因子を明確にする。また、低負荷型ライフスタイルの実現可能性と省エネルギー効果について検討する。更に、住宅性能やライフスタイルの各因子がエネルギー消費量に及ぼす影響度を定量的に把握し、有効な因子とその省エネ効果を建物種別・地域別に明らかにする。

本論文は、8 章から構成されている。第 2、4、5 章は実測調査、第 3 章は 2 章の結果を用いた統計解析、第 6、7 章は数値計算である。

第 2 章では、全国の 80 戸の比較的新しい住宅において 2002 年 12 月から 2004 年 11 月までの 2 年間で実施したエネルギー消費量と室内環境の調査に基づき、住戸別、用途別、機器別のエネルギー消費量、室内外温熱環境について分析を行った。その結果、①対象住宅の床面積はおおむね戸建住宅が 100～150m²、集合住宅が 70～100 m² の範囲に入っている。②対象住戸の熱損失係数は北海道、東北では、おおむね 2.0W/m²・K 以下の水準となっているが、それ以外の地域ではばらつきがみられ、5.0W/m²・K を超える住戸もある。しかし、大部分が 3.0W/m²・K 前後となっている。戸建住宅と集合住宅に明確な差

は見られなかった。③住宅全体のエネルギー消費量は20～160GJ/年の範囲に入り、北海道が最大で、東北、北陸がこれに続き、関東、関西、九州・沖縄がほぼ同じ程度である。各地域とも住戸差が大きく、同一地域内で最大の住戸と最小の住戸は2倍ないしはそれ以上の差が見られる。用途別に見ると、北海道、東北、北陸地域において暖冷房換気、給湯の割合が大きく、住戸差も顕著である。それ以外の消費量では明確な地域差が見られなかった。④暖冷房換気、給湯以外の機器のエネルギー消費量を見ると、冷蔵庫が2～3GJ/年程度、テレビと電磁調理器は極端な例を除いて1～2GJ/年、温水便座が1GJ/年弱である。以上のことから、全国の80戸の住宅における用途別エネルギー消費量、機器別エネルギー消費量を把握することができた。

第3章では、実測した72戸の住宅を対象に、住宅エネルギー消費量に影響を及ぼす各因子がエネルギー消費量にどの程度寄与するのかを統計的に明らかにした。また、用途別のエネルギー消費量、室内外温熱環境、シェルター性能の相互関係から居住性能の地域性を明らかにした。その結果、同じデータを用いて、重回帰分析、ニューラルネットワーク、数量化理論Ⅰ類の三つの解析手法を適用した。三つの手法を比べると、住宅全体のエネルギー消費量に対して影響度が大きい因子はどの手法でも暖房度日であった。また、重回帰分析によると床面積の影響度も大きい。一方、数量化Ⅰ類の結果によると、①定性的な変数として扱った地域の影響度が大きかった。これは、地域差が大きい暖房運転時間、暖房面積などはデータとして入力されていないため、これらの条件が地域の因子に反映された結果であると推察される。②年間暖冷房エネルギー消費量に及ぼす影響の強い因子は地域、築年数などである。熱損失係数について、値が1.5以上のカテゴリーを見ると、熱損失係数が大きいほどエネルギー消費量が増加している。しかし値が1.5以下でも増加している。これは熱損失係数の小さな北海道の高断熱、高気密住宅では暖房面積が他の地方より大きいためである。③年間給湯エネルギー消費量に及ぼす影響の強い因子としては地域、年平均温度などである。外気温度が低くなるとエネルギー消費量が増えるが、これは外気温度の低下により給水の温度が低くなるからである。④年間その他エネルギー消費量に及ぼす影響の強い因子としては家電数である。今後とも、住宅における家電機器の所有台数の増加が予想されるが、それに伴うエネルギー消費量の増加が懸念される。

第4章では、東北地域の戸建住宅9戸、集合住宅4戸の計13戸を対象に室内外温熱環境と住宅内エネルギー消費量の長期実測調査を行った。また、電気、灯油の併用住宅と全電化住宅の代表的な住宅各1戸を対象にエネルギー消費量と室内温度などの分析も行なった。本章により得られた知見は以下の通りである。①13戸の住宅の年間エネルギー消費量は40GJから120GJの間でばらつき、居住者の省エネルギー意識が高い住宅ではエネルギー消費量が少ないことが明らかになった。②用途別エネルギー消費量を見ると、暖房と給湯エネルギー消費量は相対的に大きく、また各住宅において大きな差が見られるが、冷房、冷蔵庫、厨房、娯楽情報、家事衛生、照明他エネルギー消費量については、全住宅を通して相対的に少ない。③13戸の住宅の1年目と2年目の全体消費量を比較すると若干の変化が見られる。1年目と比べ、2年目の全体エネルギー消費量が少ない住宅は戸建01、06の2戸であるが、居住者へのヒアリング調査によると2年目には省エネルギーに対する意識が強まり、暖房の消費量が節約されたためと考えられる。特に低負荷型ライフスタイルを短期的に実行した戸建06については玄関、洗面所、トイレに設置された暖房機器が、2年目に使用されなかったことが影響している。以上のことから、住宅の省エネルギーを推進していく上では、各機器のエネルギー消費量の削減の必要性に対する居住者の意識を高めていくことが重要であると考えられる。

第5章では、第4章で示した13戸の住宅の内9戸を対象として調査2年目に低負荷型ライフスタイルを短期的に実行することを居住者に依頼し、実行前に比べ実行時と実行後の省エネルギー効果について考察した。また、1年目と2年目のエネルギー消費量を比較することにより、低負荷型ライフスタイルメニューの実行後の影響を考察した。その結果、①中間期、夏期ともに全住宅平均で約5%の省エネルギー効果が得られた。一方、冬期については実行前一週間と比べて実行時1週間の外気温の大きな低下が影響し、暖冷房換気用エネルギー消費量が大きく増加した。このことにより、他の用途で省エネルギー効果が表れているにも関わらず、総エネルギー消費で全住宅平均で約9%増大する結果となった。②実行度アンケート調査結果によれば、「暖房設定温度を低くする（20℃を目安）」、「使用時間を短くする」の実行度が各住宅を通して高くなっている。③1年目と2年目を比べると、2年目のエネルギー消費量は1年目より平均約6%減少している。戸建01が11%、戸建05が8%、戸建06が14%、戸建07が8%と大きく減少した。これは居住者へのヒアリング調査によると、このときに実践したことが、実行後も継続しているためである。この章の実測調査により、低負荷型ライフスタイルを導入することにより省エネルギーが実現できる可能性のあることが分かった。

第6章では、生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0 及び住宅用熱負荷計算プログラム SMASH for Windows Ver.2.02 を概説した。次に、これらを組み合わせたライフスタイルを考慮に入れた住宅内エネルギー消費量予測モデルの精度を検証した。また、実測住宅2戸（東北戸建02、東北集合01）を対象として低負荷型ライフスタイル導入の有効性を明らかにした。その結果、①住宅エネルギー消費量予測モデルを用い、実測住宅2戸を対象とした数値計算を行い、計算結果と実測結果と比較することにより予測モデルの精度検証を行った。その結果、住宅全体合計の年間積算エネルギー消費量の実測値に対する計算値の比率については、戸建02、集合01ともに3%程度小さい結果となっており、年間総エネルギー消費量の計算結果が実測結果とほぼ一致している。②住宅2戸（戸建02、集合01）を対象として、各機器のライフスタイルについて、ライフスタイルの変更が年間エネルギー消費量に与える影響度を明らかにした。③戸建02では、用途別年間エネルギー消費量について、ライフスタイルの「現状」に対して「浪費大」では1.19倍となり、「断熱0.5倍」の1.15倍よりも大きな浪費となっている。一方、ライフスタイル「節約大」では0.62倍と38%の省エネ効果が得られており、「断熱2倍」の0.89倍よりもその効果は大きい。④集合01では、ライフスタイルの「現状」に対して、「浪費大」では1.27倍となり、「断熱0.5倍」の1.03倍よりも大きな浪費となっている。一方、ライフスタイル「節約大」では、0.66倍と34%の省エネ効果が得られており、「断熱2倍」の0.97倍よりもその効果は大きい。以上より、低負荷型ライフスタイルの導入が今後の住宅分野のエネルギー消費を削減するために重要な手法に成り得ることが示唆された。

第7章では、日本建築学会で提案されている標準問題の戸建住宅モデル及び（財）建築環境・省エネルギー機構による「住宅の熱負荷計算プログラム評定」にて示されている集合住宅モデルを参考に、夫婦と子供の4人世帯による標準型住宅モデルを構築し、既往の文献値と比較することでモデルの妥当性を検証した。また、標準型住宅モデルを対象として、住宅性能及びライフスタイルに関する各因子が住宅のエネルギー消費量に及ぼす影響度について、パラメトリックスタディを行い、住宅の省エネルギーに有効な因子を建物種別・地域別に明らかにした。その結果、①戸建住宅における標準型の計算結果は文献値による各地域の値と比較的良く一致している。一方、集合住宅については文献値より若干大きい傾向となった。これは、文献値が単独世帯も含めた平均値であるのに対して、本計算は4人家族を対象

としていることが原因である。但し、標準型住宅モデルとして扱うにあたって、一般的な値よりも若干大きく、安全側であることに留意する必要がある。②全体的に見ると、年間合計エネルギー消費量に影響の大きい因子として、「シェルター性能」、「暖冷房温度」、「暖冷房運転」が挙げられる。特に戸建住宅（那覇を除く）において最も影響の大きい因子は「暖冷房運転」である。一方、集合住宅（那覇を除く）においては「シェルター性能」の与える影響が最も顕著であり、建物種別による違いがうかがえる。③ひとつひとつの因子について見ると、「日照条件」、「庇」については、戸建、集合ともに全地域を通して年間合計に与える影響度は 1%にも満たない程度である。低負荷型ライフスタイルに関わる因子では、先述した「暖冷房温度」や「暖冷房運転」の効果が大きいものの、「こたつの使用」や「カーテン」、「厨房機器」、「洗顔・炊事の湯の使用」、「入浴形態」による効果も大きいといえる。「こたつの使用」については、年間合計で約 10%程度（札幌だけ 31%）、「カーテン」については約 4%程度の省エネルギー効果が見られる。「機器・照明」の使用に関する影響では、特に「厨房機器」を節約型とすることにより約 7%前後の削減効果が示されており、その他の機器では 1%～5%に留まっている。④ここで取り上げた住宅性能やライフスタイルの因子の水準を省エネ型に変更すると 1～31%程度の削減効果が見込めることが示された。

第 8 章では、本研究における研究成果を総括するとともに、住宅エネルギー消費量の可能性に関する今後の課題について言及し、結論とした。

論文審査結果の要旨

本論文は、住宅における省エネルギーの可能性を明らかにするために、全国各地域の住宅 80 戸を対象とし 2 年間にわたりエネルギー消費量を詳細に測定するとともに、その結果を用いてエネルギー消費量に及ぼす因子の影響度を数値計算によって検討したものである。

第 1 章は序論である。第 2 章では全国 80 戸の比較的新しい住宅を対象として 2002 年 11 月から 2004 年 11 月にかけて実施したエネルギー消費量と室内環境の実測調査に基づき、住戸別、用途別、機器別のエネルギー消費量並びに室内外温熱環境について詳細な分析を行っている。このような調査は我が国では初めてであり、省エネルギーの方策を検討する上で貴重な資料を提供している。第 3 章では実測した住宅を対象に、住宅エネルギー消費量に及ぼす因子の影響度を統計的に明らかにし、入力条件として用意できなかった暖房時間、暖房面積が大きな影響を及ぼすことを推察している。第 4 章では東北地域の住宅 13 戸を対象に室内温熱環境と住宅内エネルギー消費量について詳細な分析を行った。その結果、省エネ意識の高い住宅では、エネルギー消費量が少ないこと、2 年目で省エネ意識が高まった住宅では、エネルギー消費量が削減されたことを明らかにしており、ライフスタイルの変更によるエネルギー削減の効果を定量的に示した点で高く評価される。第 5 章では低負荷型ライフスタイルを短期的に実行することを居住者に依頼し、実行前に比べ実行時・実行後の省エネルギー効果について考察した。これらの調査により、導入しやすい低負荷型ライフスタイルの内容とその効果を定量的に明らかにした。第 6 章ではまず、ライフスタイルを考慮に入れた住宅エネルギー消費量予測モデルの精度を検証した。次に実測した戸建、集合各 1 戸を対象として、数値計算に基づいて低負荷型ライフスタイルの導入によるエネルギー消費の削減効果を定量的に示している。第 7 章では全国各地における戸建と集合の標準型住宅モデルを構築し、住宅性能及びライフスタイルに関する各因子が住宅のエネルギー消費量に及ぼす影響について数値計算を行い、住宅の省エネルギーに有効な因子を建物種別・地域別に明らかにした。

以上より本論文は、住宅エネルギー消費量の長期詳細な実態に関する貴重な資料を提供すると共に、住宅性能やライフスタイルの各因子の変更が住宅のエネルギー消費量に与える影響度を定量的に明らかにしたものであり、建築環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。